



KONGERIKET NORGE

The Kingdom of Norway

PCT/NO 03/00116

REC'D PCT/PTO

08 OCT 2004

REC'D 12 MAY 2003

WIPO

PCT

**Bekreftelse på patentsøknad nr**  
*Certification of patent application no*

**2002 1726**

Det bekreftes herved at vedheftede dokument er nøyaktig utskrift/kopi av ovennevnte søknad, som opprinnelig inngitt 2002.04.12

It is hereby certified that the annexed document is a true copy of the above-mentioned application, as originally filed on 2002.04.12

2003.04.30

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

*Freddy Strømmen*

Freddy Strømmen  
Seksjonsleder

*Line Reum*

Line Reum



**PATENTSTYRET**

Styret for det industrielle rettsvern

**BEST AVAILABLE COPY**

02-04-12\*20021726

OPPFINNELSENS

BENEVNELSE:

FREMGANGSMÅTE OG ANORDNING FOR Å OPPDAGE  
EN LEKKASJE I EN STEPELMASKIN

SØKER:

NATIONAL OILWELL NORWAY AS  
POSTBOKS 8181  
LAGERV. 8 - 4033 STAVANGER  
4069 STAVANGER

OPPFINNER:

ÅGE KYLLINGSTAD  
BARKV. 14  
4330 ÅLGÅRD

FULLMEKTIG:

HÅMSØ PATENTBYRÅ ANS  
POSTBOKS 171  
4302 SANDNES

VÅR REF.: P 10124

## FREMGANGSMÅTE OG ANORDNING FOR Å OPPDAGE EN LEKKASJE I EN STEMPELMASKIN

Denne oppfinnelse vedrører en fremgangsmåte for å oppdage en lekkasje i en stempelmaskin. Fremgangsmåten kan også anvendes  
5 til å lokalisere en lekkasje. Med stempelmaskiner menes i denne sammenheng alle arter av pumper og hydrauliske motorer som er forsynt med en roterende veivaksling eller kam hvor veivakslingen eller kammen driver eller drives av minst to stempler i en styrt resiprokerende fram- og tilbakebevegelse,  
10 og hvor hver stempelsylinder er forsynt med minst to tilbakeslagsventiler som er innrettet til å likerette strømningsretningen gjennom maskinen. Oppfinnelsen omfatter også en anordning for utøvelse av fremgangsmåten.

Ved drift av stempelmaskiner er det av stor økonomisk og sikkerhetsmessig betydning å kunne oppdage lekkasjer i for eksempel stempelpakninger og ventiler på et tidlig stadium.  
Lekkasjer av denne art er akselererende, og når de først er blitt så store at de blir synlige for stempelmaskinoperatøren i form av store unormale trykkvariasjoner, må ofte stempelmaskinen stoppes og overhales umiddelbart og uten mulighet for  
20

å utsette vedlikeholdsarbeidet til et senere og operasjonelt gunstigere tidspunkt.

Oppfinnelsen har til formål å an vise en fremgangsmåte for å kunne oppdage en begynnende lekkasje før den får et drifts-  
messig forstyrrende omfang, hvorved en reparasjon kan plan-  
legges til et senere tidspunkt.

Formålet oppnås i henhold til oppfinnelsen ved de trekk som er angitt i nedenstående beskrivelse og i de etterfølgende patentkrav.

10 Fremgangsmåten omfatter en analyse av strømningsraten inn og ut av stempelmaskinen for å kunne oppdage en ny strømningsratekomponent hvor strømningsratekomponenten har en frekvens som skiller seg fra stempelmaskinens grunnfrekvens. Med grunnfrekvens menes her stempelmaskinens rotasjonsfrekvens  
15 multiplisert med antall stempler i maskinen. Strømningsratene kan være trykkmålingsbaserte estimer.

Ideelt sett skal strømningsratene inn og ut av stempelmaskinen være mest mulig jevne, men i praksis vil strømningsratene og dermed også trykket, fluktuere i takt med rotasjonshastig-  
20 heten til maskinen. Årsakene til slike fluktuasjoner er i hovedsak geometriske forhold som bevirker at summen av hastigheten på stemplene i hver fase ikke er konstant, fluidets kompressibilitet som gjør at fluidet må komprimeres og deretter dekomprimeres før trykket utlignes og de respektive ven-  
25 tilene åpnes, ventiltregghet som gir ytterligere luknings- og åpningsforsinkelser, og strømningsavhengig trykkfall gjennom ventiler og tilførselskanaler. Dersom alle stempler og ventiler er like og opererer normalt, vil fluktuasjonene grunnet symmetri ha en grunnfrekvens lik maskinens rotasjonsfrekvens

multiplisert med antall stempler i maskinen. Om det derimot oppstår en unormal lekkasje for eksempel i ett av stemplene eller i en av ventilene, vil symmetrien brytes og strømflyttuasjonene får nye frekvenskomponenter hvor den laveste frekvens er lik maskinens rotasjonsfrekvens.

Vinkelposisjonen  $\theta$  til stempelmaskinens roterende veivaksling eller kam måles direkte eller indirekte, og normaliseres til verdier mellom 0 og  $2\pi$ , eventuelt mellom  $-\pi$  og  $\pi$  radianer, hvor 0 representerer starten på arbeidsslaget til stempel nr 1. Stempelmaskinen omfatter to eller flere stempler som er jevnt fordelt slik at stempel nr  $i$  av i alt  $n$  stempler er faseforsinket en vinkel lik  $(i-1)2\pi/n$  i forhold til første stempel.

Trykket inn og/eller ut av maskinen måles, hvorefter de målte trykksignal transformeres til funksjoner som representerer normaliserte strømningsrater inn og ut av maskinen. Det betyr for eksempel at dersom  $q_{in}$  og  $\bar{q}$  representerer øyeblikkelig og gjennomsnittlig strømningsrate inn i stempelmaskinen, så er den normaliserte innstrømsfunksjon definert slik at

$$f(p_{in}) \approx q_{in} / \bar{q}.$$

Det er vel kjent for en fagmann at et periodisk signal kan spaltes i komponenter med ulike frekvenser for eksempel ved hjelp av Fourier analyse. Den  $i$ -te harmoniske komponent av stempelmaskinfrekvensen kan representeres ved to koeffisienter definert ved følgende integraler:

$$s_i = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f \sin(i\theta) d\theta \quad (1)$$

$$c_i = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f \cos(i\theta) d\theta \quad (2)$$

Disse integraler, som i praksis må implementeres som summasjoner i en datamaskin eller i en programmerbar logisk styreenhet (PLS), blir oppdaterte for hver ny omdreining av stem-  
 5 pelmaskinen. Hvis funksjonen  $f$  er rent periodisk med pumpevinkelen, vil integralene være konstante. Imidlertid vil  $f$  ofte kunne inneholde betydelige ikke-periodiske komponenter som kan skyldes for eksempel endring av pumpehastighet eller variasjon av ytre strømningsmotstand. De ikke-periodiske kom-  
 10 ponenter kan betraktes som stokastisk støy og kan dermed undertrykkes i forhold til de periodiske komponentene ved å bruke kjent glatting eller midlings-teknikk. Som et eksempel kan en bruke rekursiv glatting etter oppskriften

$$a_i(k) = (1-x)a_i(k-1) + xs_i(k) \quad (3)$$

$$b_i(k) = (1-x)b_i(k-1) + xc_i(k) \quad (4)$$

hvor argumentet referere seg til estimat etter omdreining nummer  $k$  av maskinen, og  $x$  er en positiv vektfunksjon som normalt er mye mindre enn 1. Dette glattingsfilter, som er et  
 20 digitalt førsteordens lavpassfilter, gjør at alle foregående estimer av sinus og cosinus koeffisienten inngår i de beregnede resultantkoeffisientene, men med eksponensielt avtakende vekt bakover i tid. Hvis de ikke-periodiske variasjonene er forholdsvis store, kan det være nødvendig å bruke en  
 25 annen ordens glatting og/eller velge vektfunksjonen  $x$  enda mindre.

Amplituden av første harmoniske frekvenskomponent:

$$f_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \quad (5)$$

representerer et kvantitativt mål for lekkasjen i maskinen. Ved en liten lekkasje vil denne komponenten begynne å vokse fra sitt lave, normale støynivå lang tid før lekkasjen blir så stor at den tilhørende trykk-fluktuasjon kan merkes direkte på et trykkmanometer eller på en graf av trykksignalene.

Fremgangsmåten er også velegnet for å bestemme hovedkilden til lekkasjen. Dette er mulig fordi Fourier-analysen inneholder faseinformasjon gjennom de to frekvenskomponentene  $a_1$  og  $b_1$ . Sammenhengen mellom frekvenskomponentene kan ved hjelp av en velkjent trigonometrisk identitet uttrykkes som

$$a_1 \sin(\theta) + b_1 \cos(\theta) = f_1 \sin(\theta - \varphi_1) \quad (6)$$

hvor

$$\tan(\varphi_1) = a_1 / b_1 \quad (7)$$

Fortegnet på koeffisientene avgjør i hvilken av kvadrantene vinkelen  $\varphi_1$  ligger.

Hver lekkasjeart har sin egen signatur som forklart i noen etterfølgende eksempler. Funksjonene  $f$  og  $g$  representerer funksjoner som er tilnærmet proporsjonale med henholdsvis inngående og utgående volumstrømrater. Det medfører at de tilhørende fasevinkler,  $\varphi_1$  og  $\gamma_1$ , er direkte uttrykk for første harmonisk komponent av væskestrømmene sitt maksimum.

I det etterfølgende beskrives flere ikke-begrensende eksempel på anvendelse av fremgangsmåten som er anskueliggjort på medfølgende tegninger, hvor:

Fig. 1 viser skjematisk en triplex-pumpe som er forsynt med nødvendig måle og analyseutstyr; og

Fig. 2 viser en kurve av leveringsvolumstrøm som en funksjon av pumpens rotasjonsvinkel hvor tyngdepunktet av en stempel-lekkasje er vist.

På tegningene betegner henvisningstallet 1 en såkalt triplex-pumpe som er forsynt med tre enkeltvirkende stempler 2, 2' henholdsvis 2", hvorav bare stemplet 2 er vist, som forløper i sine respektive sylindre 4, 4' og 4". Sylindrene 4, 4' og 4" kommuniserer med henholdsvis en innløpsmanifold 6 gjennom sine respektive innløpsventiler 8, 8' og 8", og en utløpsmanifold 10 gjennom sine respektive utløpsventiler 12, 12' og 12". En innløpstrykkføler 14 er tilkopleet innløpsmanifolden 6 og kommuniserer med en datamaskin 16 via en ledning 18, og en utløpstrykkføler 20 er tilkopleet utløpsmanifolden 10 og kommuniserer med datamaskinen 16 via en ledning 22. En rotasjonsvinkelgiver 24 er innrettet til å måle rotasjonsvinkelen på pumpens 1 veivaksel 26, og er kommuniserbart forbundet til datamaskinen 16 ved hjelp av en ledning 28. Følerne 14 og 20, giveren 24 og datamaskinen 16 er av i og for seg kjent utførelse, og datamaskinen er programmert for å kunne utføre de beregninger det her er tale om.

Ved en utetthet i det første stempels 2 pakning reduseres utstrømmen gjennom utløpsventilen 12 under pumpefasen med en mengde som er lik lekkasjen forbi stemplet 2. Siden pumpeslaget strekker seg over en halv omdreining av pumpens 1 veiv-



aksling 26, er tyngdepunktet 32, se fig. 2, for denne volum-  
strøm-reduksjonen ca  $\pi/2$  radianer ( $90^\circ$ ) etter start av pum-  
peslaget. I fig. 2 indikerer kurven 34 den reduksjon i gjen-  
snittlig volumstrøm 36 som oppstår grunnet stempellekka-  
sje. I virkeligheten vil tyngdepunktet 32 ligge ytterligere  
5 en liten vinkel etter. Dette skyldes både komprimering og de-  
komprimering av pumpevasken og at det ved veivdrift hvor  
stemplets 2 ikke viste veivstang har en endelig lengde, er  
slik at stempelhastigheten har sitt maksimum først ved ca  
10  $100^\circ$ . Disse effekter kan beregnes og korrigeres for ved å ad-  
dere en trykk- og geometriavhengig faseforsinkelse  $\delta$ . Den  
tilsvarende vinkelen  $\gamma_1$  på den første harmoniske komponenten  
av utstrømsfunksjonen  $g$  vil derfor være forskjøvet en halv  
omdreining i forhold til det punktet, dvs til  $\gamma_1 = -\pi/2 + \delta$ .  
15 Grunnet det langt lavere trykk under stempelets 2 retur-  
eller sugeslag, vil strømningsraten inn - og dermed også  
funksjonen  $f$  - være lite påvirket av en stempellekkasje,  
hvorved  $f_1 \approx 0$ .

Eksemplet over kan enkelt generaliseres til en regel som sier  
20 av dersom det er lekkasje i stempel nr  $i$  av  $i$  alt  $n$  stempler  
som har en innbyrdes faseforskyvning på  $2\pi/n$ , så vil

$$f_1 \approx 0 \quad (8)$$

$$g_1 > 0 \quad (9)$$

$$\gamma_1 = -\pi/2 + \delta + 2(i-1)\pi/n \quad (10)$$

25 Ulikheten  $> 0$ , betegner her at  $g_1$  må forstås som signifikant  
større enn nivået for bakgrunnstøy.

Dersom lekkasjen er i innløpsventilen 8 i stedet for i stemp-  
 let 2, vil det oppstå en helt tilsvarende effekt på ut-funk-  
 sjonen som ved ren stempellekkasje. Imidlertid vil svikten i  
 utstrømningen nå være balansert av en tilsvarende negativ  
 5 inn-strøm. Det kan derfor trekkes den slutning at ved lek-  
 kasje i inn-ventil nr  $i$  vil fremdeles (9) og (10) gjelde,  
 mens (8) må byttes ut med

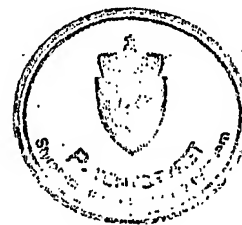
$$f_1 > 0 \quad (11)$$

$$\varphi_1 = \gamma_1 = -\pi/2 + \delta + 2(i-1)\pi/n \quad (12)$$

10 En lekkasje i utløpsventilen 12 vil føre til en reduksjon av  
 både inn-strøm som ut-strøm under returfasen. Da vil både  
 ulikheter (11) og (9) gjelde, men fasevinklene er forskjøvet  
 en halv omdreining til

$$\varphi_1 = \gamma_1 = \pi/2 + \delta + 2(i-1)\pi/n \quad (13)$$

15 I de tilfellene hvor  $n$  er et oddetall, vil lekkasjekilden  
 bestemmes unikt. Årsaken til dette er at fasevinklene defi-  
 nert ved ligning (12) er alle forskjellige fra fasevinklene  
 definert ved ligning (13). Dersom antall stempler derimot er  
 et partall, blir lekkasjebestemmelsen tvetydig, i alle fall  
 20 dersom lekkasjen er i en av ventilene. Årsaken til dette er  
 at en lekkasje i en innløpsventil nr  $i$  vil ha samme signatur  
 som en lekkasje i den komplementære ut-ventilen (nr  $i \pm n/2$ )  
 og vice versa.



## P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for å oppdage en lekkasje i en stempelmaskin (1) omfattende minst to stempler (2, 2'),  
karakterisert ved at stempelmaskinens (1)  
5 i det minste utløpsvolumstrøm overvåkes og analyseres  
for eksempel ved hjelp av Forier-analyse for å kunne  
oppdage en strømningskomponent hvor strømningskomponen-  
ten har en frekvens som skiller seg fra stempelmaskinens  
grunnfrekvens, idet stempelmaskinens grunnfrekvens ut-  
10 gjøres av stempelmaskinens rotasjonsfrekvens multipli-  
sert med stempelmaskinens antall stempler (2, 2').
2. Fremgangsmåte i henhold krav 1, karakteri-  
sert ved at stempelmaskinens (1) innløpsvolum-  
strøm og/eller utløpsvolumstrøm overvåkes og idet en  
15 strømningskomponent sammenstilles med informasjon om  
stempelmaskinens (1) aksel/kamvinkel for ved hjelp av et  
kjent kunnskap om sammenhengen mellom strømningsfre-  
kvenskomponenten og stempelpumpens (1) aksel/kamvinkel å  
kunne lokalisere den til den aktuelle strømningsfre-  
20 kvenskomponent tilhørende lekkasje.
3. Anordning for å oppdage en lekkasje i en stempelmaskin  
(1) omfattende minst to stempler (2, 2'), karakteri-  
tert ved at stempelmaskinen (1) er forsynt  
med i det minste en måleanordning (14, 16) som er inn-  
25 rettet til direkte eller indirekte å måle en volumstrøm  
gjennom stempelmaskinen (1), idet måleanordningen (14,  
16) er tilkopleet en datamaskin (16) hvor datamaskinen  
(16) er programmert til å kunne skille ut strømningskom-

ponenter som har en frekvens som skiller seg fra stempelmaskinens grunnfrekvens.

4. Anordning i henhold krav 3, k a r a k t e r i s e r t  
v e d at stempelmaskinen (1) er forsynt med en til da-  
5 tamaskinen (16) tilkopleet rotasjonsvinkelgiver (24) som  
er innrettet til å måle stempelmaskinens (1) aksel-/  
kamvinkel for ved hjelp av kjent kunnskap om sammen-  
hengen mellom strømningsfrekvenskomponenten og stempel-  
pumpens (1) aksel-/kamvinkel å kunne lokalisere den til  
10 den aktuelle strømningsfrekvenskomponent tilhørende lek-  
kasje.





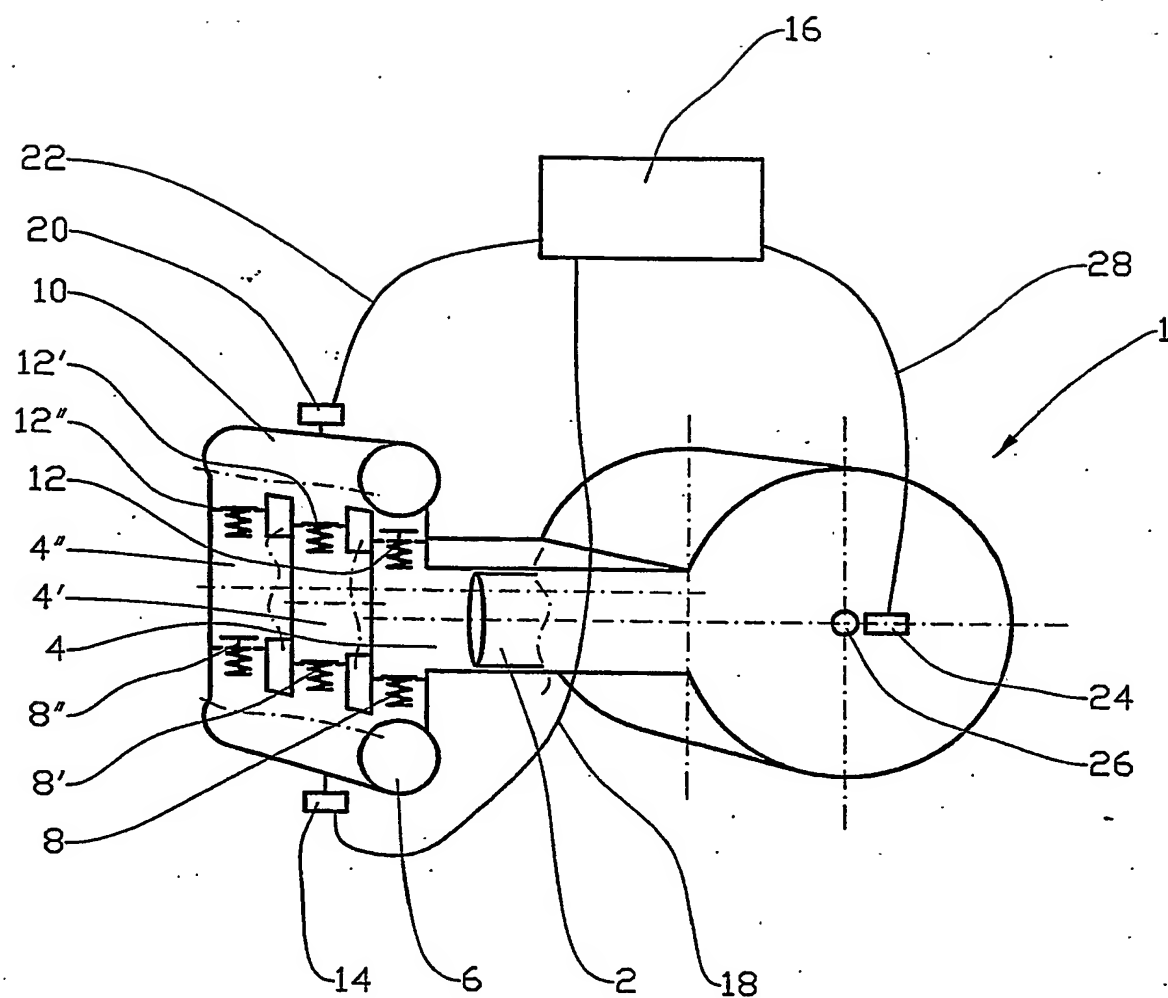


Fig. 1



2/2

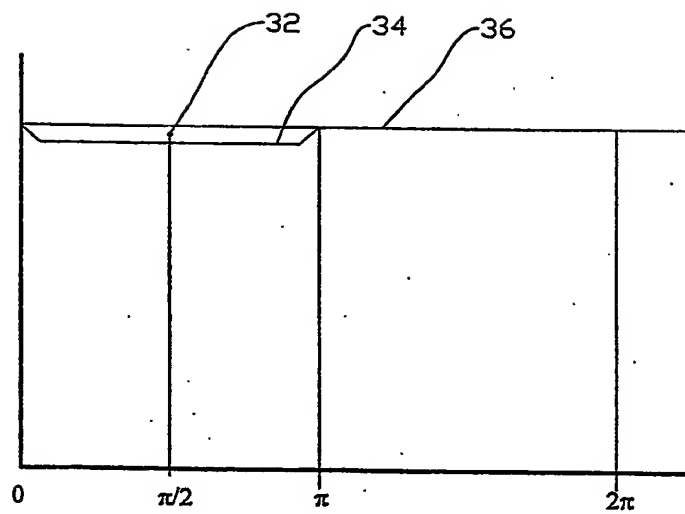


Fig. 2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**